

BAB II

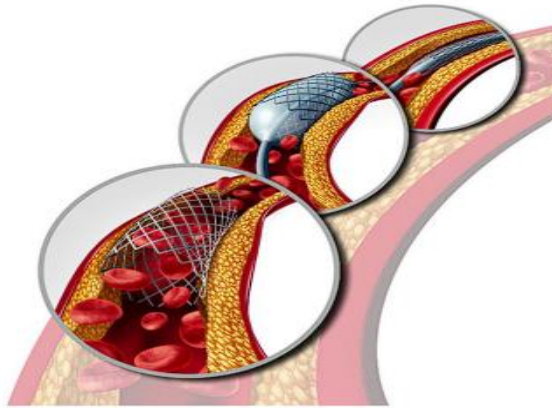
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Stent

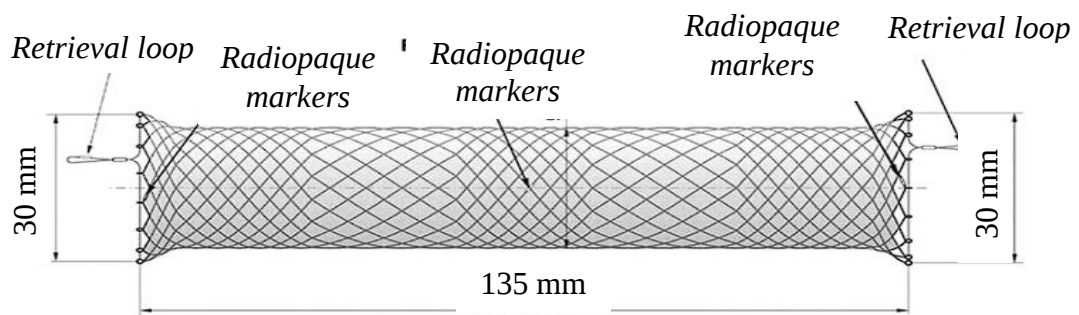
Stent merupakan biomaterial yang digunakan di dunia kesehatan (ahli bedah) untuk memperluas atau membuka sumbatan arteri yang berguna untuk menormalkan aliran darah dan mengurangi resiko serangan jantung [9]. Kondisi ini biasanya dilakukan pada pasien Penyakit Jantung Koroner (PJK). Ketika arteri koroner (arteri yang memberi makan otot jantung) menyempit oleh penumpukan timbunan lemak yang disebut plak, hal itu dapat mengurangi aliran darah. Jika aliran darah ke otot jantung berkurang, nyeri dada bisa terjadi. Jika gumpalan terbentuk dan benar-benar menghalangi aliran darah ke bagian otot jantung, maka terjadilah serangan jantung. Stent membantu menjaga arteri koroner tetap terbuka dan mengurangi kemungkinan serangan jantung.

Untuk membuka arteri yang menyempit, dokter dapat melakukan prosedur yang disebut *Percutaneous Coronary Intervention* (PCI) atau angioplasty. Prosedur ini bertujuan untuk mencegah penyumbatan kembali dengan pemasangan *stent*. Stent pertama-tama dikerutkan ketabung berujung balon (kateter), dimasukkan ke stenosis melalui pembuluh darah dan dipindahkan ke titik penyumbatan. Kemudian diperluas dengan menggembungkan balon. Ini memampatkan plak dan membuka tempat yang menyempit. Ketika lubang di pembuluh telah melebar, balon mengempis dan kateter ditarik. Stent tetap berada di arteri secara permanen dan menahannya agar tetap terbuka. Ini meningkatkan aliran darah ke otot jantung.

Ilustrasi implantasi stent dan dimensi stent dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.



Gambar 2. 1 Ilustrasi Implantasi Stent Ke Dalam [10]



Gambar 2. 2 Dimensi Stent [11]

Stent kardiovaskular harus memiliki elastisitas yang cukup untuk dapat dipadatkan saat pengantaran dan kemudian mengembang di area lesi, serta mempertahankan ukuran yang diperlukan setelah dipasang. Berikut adalah karakteristik dari stent dapat ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Karakteristik Stent [10]

No	Karakteristik	Deskripsi
1	<i>Low Profile</i>	Kemampuan untuk dipadatkan pada kateter balon, memungkinkan pengiriman yang mudah.
2	Kemampuan Ekspansi yang Baik	Dapat mengembang secara optimal dan menyesuaikan bentuk dinding pembuluh darah saat balon digembungkan.
3	Kekuatan Radial yang Cukup	Mampu menopang dinding arteri dan tidak mudah runtuh setelah pemasangan.
4	Fleksibilitas yang Cukup	Dapat dikirim melalui arteri dengan berbagai ukuran dan tikungan tanpa kehilangan bentuk atau fungsi.
5	Radiopasitas/MRI yang Memadai	Dapat dilokalisasi dan dilacak dengan mudah menggunakan imaging medis seperti X-ray atau MRI.

Secara umum, bahan yang digunakan untuk pembuatan stent kardiovaskular adalah stainless steel 316 L (316 L SS), tantalum (Ta), titanium (Ti), Nitinol (Ni-Ti), kobalt-kromium (Co-Cr), platinum (Pr), besi murni, dan paduan magnesium

(WE43). Sifat mekanik yang dimiliki pada stent berdasarkan jenis material dapat dilihat pada tabel 2.1 [10].

Tabel 2. 2 Sifat mekanik yang digunakan pada aplikasi stent [4]

Jenis Material	<i>Yield Strength</i> (Mpa)	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (Mpa)	<i>Elastic Modulus</i> (Gpa)	<i>Elongasi</i> (%)	<i>Kekasaran permukaan</i> (μm)
<i>Stainless Steel</i>					
304	207	692	193	35	1,5
Fe-18Cr-14Ni- 2.5Mo					
“316LVM”	340	670	193	48	1,5
ASTM F138					
Fe-21Cr-10Ni- 3.5Mn-2.5Mo					
ASTM F 1586	430	740	195	35	N/A
Fe-22Cr-13Ni- 5Mn ASTM F					
1314	448	827	193	45	N/A
Fe-23Mn-21Cr- 1Mo-1N Nickel					
free SS	607	931	190	49	N/A

Tabel 2. 3 (Lanjutan)

Jenis Material	<i>Yield Strength</i> (Mpa)	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (Mpa)	<i>Elastic Modulus</i> (Gpa)	<i>Elongasi</i> (%)	<i>Kekasaran permukaan</i> (μm)
Co-20Cr-15W- 10Ni“L605” ASTM F90	380-780	820- 1200	243	35-55	N/A
CP Titanium ASTM F 67, <i>Grade 1</i>	200	300	107	30	N/A
Tantalum	138	207	185	25	N/A
Tungsten	3000	3126	411	103	N/A

2.2 *Stainless Steel*

Baja tahan karat atau stainless steel adalah jenis baja paduan yang mengandung minimal 11,5% kromium berdasarkan beratnya. Stainless steel memiliki sifat tahan karat yang membuatnya tidak mudah terkorosi seperti logam baja lainnya. Perbedaan utama antara stainless steel dan baja biasa terletak pada kandungan kromiumnya. *Stainless steel* memiliki persentase jumlah krom yang memadai sehingga akan membentuk suatu lapisan pasif kromium oksida yang akan mencegah terjadinya korosi lebih lanjut. Selain krom, terdapat unsur-unsur lain

yang berperan sebagai paduan dalam baja tahan karat yang setiap unsur memiliki pengaruhnya masing-masing yang dapat dilihat pada gambar 2.1

Tabel 2. 4 Pengaruh Penambahan Unsur Pada *Stainless Steel* [4]

No	Unsur	Pengaruh
1	Aluminum	Deoksidasi
2	Boron	Meningkatkan kekerasan
3	Carbon	Meningkatkan kekuatan dan kekerasan
4	Chromium	Meningkatkan ketahanan korosi, kekerasan, dan ketahanan aus
5	Lead	Meningkatkan kekerasan
6	Manganese	Meningkatkan kekerasan
7	Nickel	Meningkatkan Kekuatan pada temperatur tinggi, Menaikan ketahanan korosi
8	Phosphor	Meningkatkan Kekerasan, kemampuan mesin dan ketahanan korosi
9	Silicon	Deoksidasi, memperbaiki kekerasan dan <i>oxidation resistance</i>
10	Sulfur	Meningkatkan kemampuan mesin

Kodifikasi baja tahan karat menurut AISI berbeda dengan kodifikasi baja paduan biasa. Baja tahan karat menggunakan tiga angka, di mana angka pertama

menunjukkan grupnya, sementara angka kedua dan ketiga tidak memiliki makna yang signifikan, hanya menunjukkan modifikasi paduannya.

Tabel 2. 5 Kodifikasi Baja tahan karat [4]

Series	Kelompok
2XX	<i>Chromium-Nickel-Manganese, Non Hardenable, Austenitic, Non magnetic</i>
3XX	<i>Chromium-Nickel, Non Hardenable, Austenitic, Non magnetic</i>
4XX	<i>Chromium, Hardenable, Martensitic, Magnetic</i>
5XX	<i>Chromium, Non chromium, Heat resisting</i>

Stainless steel umumnya dibagi menjadi empat kategori berdasarkan paduan unsur kimia, yakni:

1. Baja Tahan Karat Martensitik

Baja ini merupakan paduan kromium dan karbon yang memiliki struktur martensit *body-centered cubic* (bcc) terdistorsi saat kondisi bahan dikeraskan. Baja ini merupakan ferromagnetic, bersifat dapat dikeraskan dan umumnya tahan korosi di lingkungan kurang korosif. Kandungan kromium umumnya berkisar antara 10.5-18%, dan karbon melebihi 1.2%. Kandungan kromium dan karbon dijaga agar mendapatkan struktur martensit saat proses pengerasan. Karbida berlebih meningkatkan ketahanan aus. Unsur niobium, silikon, tungsten dan vanadium ditambah untuk memperbaiki proses temper

setelah proses pengerasan. Sedikit kandungan nikel meningkatkan ketahanan korosi dan ketangguhan.

2. Baja Tahan Karat Ferritik

Baja tahan karat ferritik mengandung hingga 30% kromium dan kurang dari 0,12% karbon. Karena memiliki struktur kristal kubus berpusat badan (BCC), baja tahan karat ferritik memiliki kekuatan yang baik dan keuletan yang sedang, yang berasal dari penguatan larutan padat dan pengerasan regangan. Baja jenis ini bersifat feromagnetik dan tidak dapat dikeraskan melalui perlakuan panas. Mereka memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, kemampuan bentuk yang sedang, dan relatif murah.

3. Baja tahan karat austenitik

Baja tahan karat austenitik merupakan baja yang mengandung tidak kurang dari 18% Cr dan 8% Ni. Logam paduan ini merupakan paduan berbasis ferrous dan struktur kristal face centered cubic (fcc). Struktur kristal akan tetap berfasa austenit bila unsur nikel dalam paduan diganti mangan (Mn) karena kedua unsur merupakan penstabil fasa austenit. Baja tahan karat ini bersifat non magnetik, memiliki sifat pembentukan dan keberlasan yang baik (Umartono, 2012).

4. Baja tahan karat dupleks

Meskipun telah dikenal sejak lama, kelompok baja ini baru-baru ini menjadi penting karena meningkatnya kebutuhan akan baja dengan ketahanan yang lebih baik terhadap retak korosi tegangan klorida (SCC) dan kekuatan yang lebih tinggi. Komposisinya dirancang untuk memberikan keseimbangan antara

austenit dan ferit. Beberapa kaya akan austenit, beberapa kaya akan ferit, dan beberapa lebih seimbang antara keduanya, tergantung pada kombinasi sifat yang diperlukan. Mereka memiliki karakteristik dari kedua kelompok, dengan ketahanan korosi yang mirip dengan rekan austenitiknya, tetapi ketahanan korosi tegangan yang lebih tinggi dan kekuatan tarik, serta kekuatan luluh yang umumnya dua kali lipat dari jenis austenitik. Ketangguhan dan keuletannya sebagian besar berada di antara jenis austenitik dan feritik.

.

2.3 Baja Tahan Karat 304

Baja tahan karat 304 adalah salah satu jenis baja tahan karat austenitik yang memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) dan merupakan baja dengan ketahanan korosi tinggi. Komposisi unsur-unsur paduan yang terkandung dalam baja tahan karat 304 akan menentukan sifat mekanik dan ketahanan korosi. Berikut merupakan tabel komposisi kimia baja tahan karat 304.

Tabel 2. 6 Komposisi Kimia *Stainless Steel* 304 [12]

Unsur	%wt
C	0,08
Mn	1,43
P	0,012
S	0,017

Tabel 2. 7 (Lanjutan)

Unsur	%wt
Si	0,75
Cr	18,73
Ni	9,78
Fe	<i>Balance</i>

Komposisi Kandungan unsur dalam baja AISI 304 diperoleh sifat mekanik material yang dapat dilihat pada tabel

Tabel 2. 8 Sifat Mekanik *Stainless Steel* 304

Sifat mekanik	Besaran Nilai
<i>Tensile Strength</i> (Mpa)	515
<i>Yield</i> (MPa)	205
<i>Elongation</i> (%)	40
<i>Hardness</i> (HVN)	88
<i>Modulus Elastisitas</i> (Gpa)	193
<i>Density</i> (Kg/m ³)	8

2.4 Baja Tahan Karat 316L

Baja Tahan Karat 316L merupakan jenis baja tahan karat austenitik yang mengandung molibdenum. Kandungan nikel dan molibdenumnya yang lebih tinggi dibandingkan tipe 304 membuat material ini memiliki ketahanan korosi yang lebih unggul, terutama terhadap korosi celah dan pitting di lingkungan yang mengandung

klorida. Selain itu, Alloy 316L menawarkan kekuatan tarik, daya tahan terhadap creep, serta ketahanan terhadap pecah akibat tegangan pada suhu tinggi yang sangat baik. Baja ini juga dikenal mudah dibentuk dan dilas. Karena kandungan karbonnya yang rendah, 316L tidak rentan terhadap kepekaan, sehingga sangat cocok digunakan pada struktur yang memerlukan banyak proses pengelasan [13].

Tabel 2. 9 Komposisi 2.4 Baja Tahan Karat 316L[13]

C %	Si %	S %	Mn %	Ni %	Cr %	Mo%	Fe %
0,029	0,390	0,035	1,648	9,930	16,86	2,057%	69%

Tabel 2. 10 Sifat Mekanik Baja Tahan Karat 316L [13]

Tensile (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Elongasi (%)	Hardness (HRB)
485	170	40	95

2.5 Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah metode yang menggabungkan proses pemanasan dan pendinginan pada material logam dalam kondisi padat [14]. Dalam proses ini, laju pendinginan diatur untuk mencapai sifat-sifat tertentu pada logam tersebut. Perlakuan panas dapat mengubah karakteristik baja, misalnya dari kondisi lunak menjadi sangat keras, atau dari sifat yang mudah patah menjadi lebih ulet. Sifat-

sifat baja yang dihasilkan melalui proses ini bergantung pada kandungan karbon, suhu pemanasan, sistem pendinginan.

Perlakuan panas bertujuan untuk mempersiapkan material bagi tahap pengolahan selanjutnya, mempermudah proses pemesinan, mengurangi tegangan internal, meratakan ukuran butir, meningkatkan keuletan dan kekuatan material, serta membuat logam lebih keras untuk menambah ketahanan terhadap aus dan meningkatkan daya potongnya. Perlakuan panas umumnya diterapkan pada material yang akan diproses lebih lanjut; dengan demikian, perlakuan panas berfungsi menyiapkan material setengah jadi untuk tahap pengerjaan berikutnya. Hal ini menunjukkan bahwa proses perlakuan panas dapat digunakan untuk mengatur sifat mekanik material sesuai kebutuhan. Proses laku panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan dimulai dengan pemanasan sampai temperatur tertentu.

Yang membedakan proses laku panas dengan proses laku panas yang lain adalah :

1. Tinggi temperatur pemanasan, yakni temperatur austenisasi yang dihendaki agar transformasi yang seragam pada material tercapai
2. Lamanya waktu penahanan, lamanya waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur pemanasan tertentu
3. Media pendinginan

Selama pemanasan yang biasanya dilakukan hingga mencapai daerah austenit, baja akan mengalami transformasi fase, di mana akan terbentuk struktur austenit. Dengan waktu penahanan yang cukup, pemanasan yang homogen dapat dicapai

sehingga struktur austenit juga menjadi homogen, dan karbida dapat larut ke dalam austenit, memungkinkan difusi karbon dan unsur paduan lainnya. Durasi penahanan sangat berpengaruh pada proses transformasi; jika waktu penahanan terlalu singkat atau tidak sesuai, transformasi yang terjadi tidak akan sempurna dan tidak merata. Waktu penahanan yang terlalu pendek juga dapat menghasilkan kekerasan rendah karena jumlah karbida yang larut tidak mencukupi. Sebaliknya, jika waktu penahanan terlalu lama, transformasi akan terjadi, tetapi disertai pertumbuhan butir yang dapat mengurangi ketangguhan baja[15]. Lamanya waktu penahanan dilakukan tergantung dari besarnya tingkat kelarutan karbida dan ukuran butir yang dibentuk[16]. Pedoman untuk menentukan waktu penahanan dari berbagai jenis baja dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut ini.

Tabel 2. 11 Jenis baja dan waktu tahan yang dibutuhkan pada proses perlakuan panas [15]

Jenis baja	Waktu tahan (menit)
Baja karbon dan baja paduan rendah	5-15
Baja paduan menengah	15-25
<i>Low alloy tool steel</i>	10-30
<i>High alloy chrome steel</i>	10-60
<i>Hot-work tool steel</i>	15-30

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas adalah bagian integral dari rangkaian proses produksi. Perlakuan panas tidak seharusnya dilihat

sebagai langkah terpisah dari proses produksi secara keseluruhan. Karena perlakuan panas dan proses lainnya saling memengaruhi, pelaksanaannya perlu mempertimbangkan tahapan yang telah dilalui sebelumnya, langkah yang akan diambil selanjutnya, serta sifat mekanik yang diinginkan dari keseluruhan proses.

2.3.1 *Hardening*

Hardening adalah salah satu jenis perlakuan panas yang umum dilakukan pada baja, terdiri atas dua tahap utama, yaitu austenitisasi dan *quenching*. Austenitisasi adalah proses pemanasan baja hingga mencapai temperatur austenitisasi, kemudian ditahan selama beberapa lama waktu. Setelah penahanan pada temperatur tersebut, baja didinginkan secara cepat dalam media pendingin, yang disebut *quenching*. Media pendingin yang biasa digunakan untuk *quenching* adalah air, oli, dan udara. Air memiliki tingkat kecepatan pendinginan (*severity of quench*) tertinggi dibandingkan media *quenching* lainnya. *Severity of quench* merujuk pada kemampuan media *quenching* dalam menyerap panas dari spesimen.

Struktur mikro yang terbentuk setelah proses hardening biasanya berupa martensit. Fase martensit adalah fase metastabil yang akan berubah menjadi fase yang lebih stabil jika diberi perlakuan panas lebih lanjut. Martensit yang keras dan getas diperkirakan terbentuk akibat transformasi mekanik (geser) yang disebabkan oleh atom karbon yang terperangkap dalam struktur kristal saat terjadi transformasi polimorfik dari FCC (*Face Centered Cubic*) ke BCC (*Body Centered Cubic*). Hal ini dapat dipahami

dengan membandingkan batas kelarutan atom karbon dalam FCC dan BCC, serta ruang interstisial maksimum pada kedua struktur kristal tersebut. Akibatnya, terjadi distorsi pada kisi kristal BCC menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*). Distorsi kisi kristal yang terjadi akibat transformasi dalam proses pendinginan yang cepat ini berbanding lurus dengan jumlah atom karbon yang terlarut [15].

2.3.2 Tempering

Baja yang dikeraskan dengan pembentukan *martensite*, pada kondisi setelah proses *quenching* biasanya masih sangat getas, sehingga baja tidak cukup baik untuk digunakan. Pembentukan *martensite* juga meninggalkan tegangan sisa yang sangat tinggi. Karena hal tersebut setelah proses pengerasan (*hardening*) selalu diikuti dengan proses pemanasan kembali (*tempering*). Tempering dilakukan dengan cara memanaskan kembali baja yang sudah dilakukan proses *quenching* pada temperatur di bawah temperatur kritis bawah, lalu membiarkannya beberapa saat pada temperatur tersebut, lalu didinginkan kembali. Secara umum dapat dikatakan jika temperatur tempering makin tinggi, maka kekerasan yang diakibatkan akan semakin rendah, sedangkan ketangguhannya akan semakin meningkat. Hubungan antara pengaruh suhu tempering terhadap kekuatan tarik pada baja dimana kekuatan tarik turun seiring dengan naiknya temperatur *tempering*

2.6 *Thin Foil*

Thin foil adalah bahan tipis dari logam yang digulung dengan ketebalan kurang dari 0,15 mm dan memiliki lebar 1,52 meter hingga 4,06 meter . Umumnya foil tidak murni berbasis logam[17]. Dengan ketipisan dan kelembutan propertinya memungkinkan digunakan untuk komponen otomotif, bagian elektronik, perangkat biomedis, dan industri makanan. Namun, keterbatasan dalam penerapan material ini serta biaya produksi massal yang mahal menjadi tantangan paling signifikan dalam industri mikroforming (proses pembentukan logam dalam skala mikro, biasanya digunakan untuk membuat komponen kecil dengan presisi tinggi) [18].



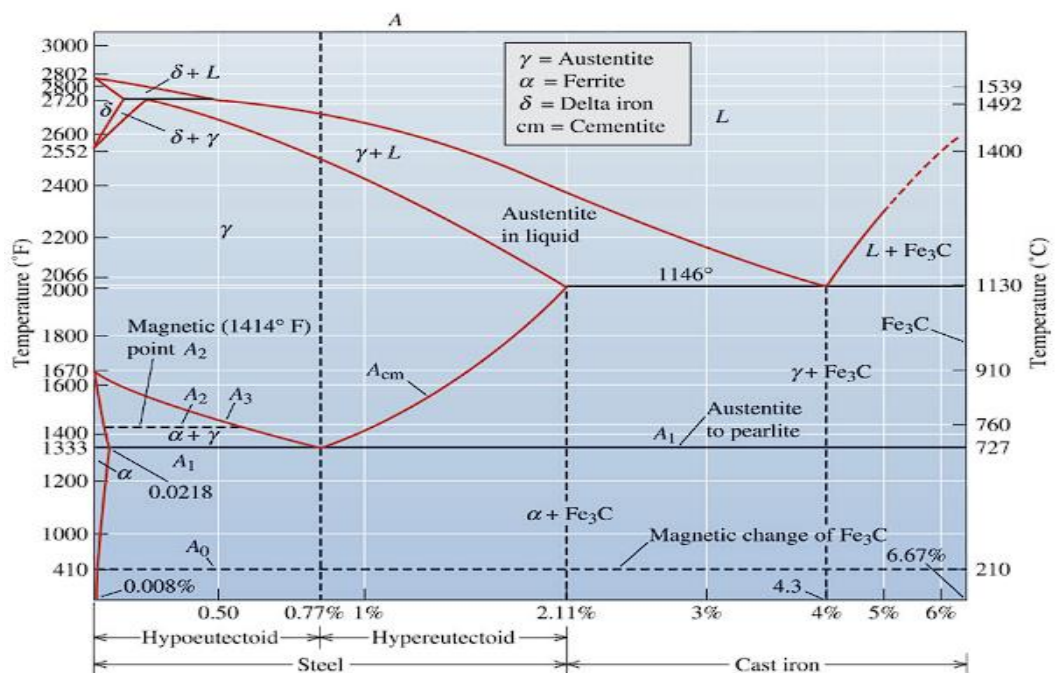
Gambar 2. 3 *Thin Foil* [19]

2.7 Diagram Fasa Fe-C

Diagram fasa Fe-C adalah diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon. Diagram ini merupakan dasar pemahaman untuk semua operasi-operasi perlakuan panas. Dimana fungsi diagram fasa adalah memudahkan memilih temperatur pemanasan yang sesuai untuk setiap

proses perlakuan panas. diagram fasa Fe-C terdiri fasa padat dan solid solution. Fasa padat pada diagram Fe-C yaitu sementit (Fe_3C). Sedangkan *solid solution* pada gambar Fe-C pada diagram Fe-C yaitu ferit dan austenit. Pada diagram Fe-C terdapa tiga reaksi yakni. Reaksi eutektik pada 4.3 wt% C; 1147 (Persamaan 2.1), reaksi eutektoid pada 0,76 wt% pada temperatur 727C dan reaksi peritektik pada 1495C dengan 0,17 wt%.

Pada diagram fasa terdapat tiga temperatur kritis sebagai batas-batas perbedaan fasa. Temperatur kritis tersebut terdiri dari A1. A3. dan Acm. Temperatur A atau biasa disebut temperatur eutektoid merupakan temperatur minimum untuk fasa austenit. Temperatur A3 merupakan temperatur minimum untuk 100% austenit pada komposisi baja hipocutektoid (batas antara $\gamma/\alpha + \gamma$). Temperatur Acm merupakan batas fasa untuk baja hipereutektoid (batas antara $\gamma/\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$).



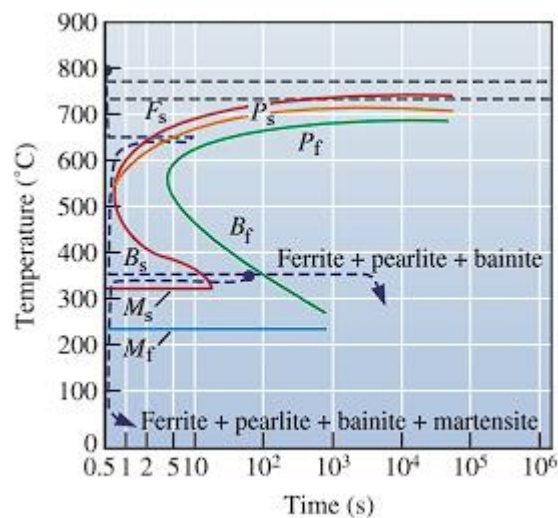
Gambar 2. 4 Diagram fasa Fe- Fe_3C [20]

Berdasarkan Gambar 2.2, baja dapat diklasifikasikan menurut kadar karbonnya menjadi baja hipoeutektoid dan baja hipereutektoid. Baja hipoeutektoid memiliki kandungan karbon kurang dari 0,77%, sedangkan baja hipereutektoid memiliki kandungan karbon lebih dari 0,77%. Namun, menurut beberapa literatur, batas antara baja hipoeutektoid dan hipereutektoid sering disebut berada pada kadar karbon 0,8%. Perbedaan kadar karbon ini memengaruhi perbedaan temperatur dalam proses perlakuan panasnya.

2.8 Diagram TTT (*Time-Temperature-Transformation*)

Maksud utama dari proses perlakuan panas terhadap baja adalah agar diperoleh struktur yang diinginkan supaya cocok dengan penggunaan yang direncanakan. Struktur tersebut dapat diperkirakan dengan cara menerapkan proses perlakuan panas yang spesifik. Struktur yang diperoleh merupakan hasil dari proses transformasi dari kondisi sebelumnya (awal). Beberapa proses transformasi dapat dibaca melalui diagram fasa. Diagram fasa Fe-C dapat digunakan untuk memperkirakan beberapa kondisi transformasi tetapi untuk kondisi tidak setimbang tidak dapat menggunakan diagram fasa. Dengan demikian, untuk setiap kondisi transformasi lebih baik menggunakan diagram TTT. Diagram ini menghubungkan transformasi austenit terhadap waktu dan temperatur. Nama lain dari diagram ini adalah diagram S atau diagram C. Melalui diagram ini dapat dipelajari kelakuan baja pada setiap tahap perlakuan panas. Diagram ini dapat juga digunakan untuk memperkirakan struktur dan sifat mekanik dari baja yang dilakukan *quenching* dari temperatur austenitisasinya ke suatu temperatur di bawah A_1 .

Pengaruh laju pendinginan pada transformasi austenit dapat diuraikan melalui penggunaan diagram TTT untuk jenis baja tertentu. Pada diagram ini sumbu tegak menyatakan temperatur sedangkan sumbu datar menyatakan waktu yang diplot dalam skala logaritmik. Diagram ini merupakan ringkasan dari beberapa jenis struktur mikro yang diperoleh dari rangkaian percobaan yang dilakukan pada spesimen yang dipanaskan pada temperatur austenitisasinya. Diagram ini dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2. 5 *Time-Temperature-Transformation* [20]

2.9 Uji Metalografi

Metalografi merupakan bidang ilmu material yang mempelajari struktur mikro dan makro suatu material menggunakan mikroskop optik atau elektron. Hasil pengamatan struktur ini melalui proses metalografi dapat mengungkapkan karakteristik material, termasuk sifat fisik dan mekaniknya. Beberapa aspek yang dapat dianalisis meliputi bentuk dan ukuran butir, fasa material, tingkat

homogenitas kimia, sebaran fasa, struktur elongasi, serta cacat material seperti dislokasi [21].

Dalam pengujian metalografi, keberhasilan pengamatan struktur mikro sangat bergantung pada persiapan spesimen uji. Spesimen yang akan diuji harus bersifat rata, bebas dari goresan, dan memiliki permukaan seperti cermin (mengkilap). Semakin sempurna preparasi benda uji, semakin jelas gambar struktur yang diperoleh, sehingga pengamatan menjadi lebih dipercaya. Tahapan persiapan benda uji metalografi secara umum, sebagai berikut:

1. Pemotongan (*cutting*)

Pemotongan pada sampel yang dilakukan secara hati-hati dengan tujuan agar struktur mikro material tidak rusak akibat oleh gesekan alat potong dengan sampel. Pencegahan terjadinya deformasi akibat panas pada struktur mikro material dapat menggunakan air sebagai media pendingin.

2. *Mounting*

Tahap ini dilakukan pada benda uji yang berukuran kecil dan tipis sehingga memudahkan pemegangan (*handling*) benda uji. Tahapan dilakukan dengan melapisi sampel dengan zat organik seperti bakelit, resin, dan sebagainya.

3. Pemolesan (*polishing*)

Tahap ini dilakukan pada permukaan yang hendak diamati, menggunakan ampelas berukuran grid kecil (kasar) sampai dengan ukuran grid sangat besar (sangat halus), dengan posisi tegak lurus setiap melakukan peningkatan penggunaan ukuran grid dari ampelas.

4. Etsa (*etching*)

Proses untuk mengikis daerah batas butir dengan larutan etsa sehingga butir lebih terlihat jelas saat diamati di bawah mikroskop optik. Jenis larutan etsa bergantung pada material yang ingin diamati.

2.10 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan adalah ukuran atau nilai kekasaran suatu material, yang menggambarkan tinggi atau rendahnya permukaan material yang diukur dari titik acuan tertentu . Konsep kekasaran permukaan ini dapat diterapkan dalam berbagai bidang, seperti dalam studi aliran panas dan listrik pada material, fenomena gesekan pada permukaan material, interaksi kelekatan antar material, daerah sentuhan deformasi, serta penelitian terkait sifat korosi material. Nilai kekasaran pada permukaan logam menjadi salah satu faktor penting dalam menilai kualitas produk logam. Kualitas produk ini sangat dipengaruhi oleh hubungan antara kekasaran permukaan dengan sifat mekanik, optik, dan elektrik yang terbentuk pada produk tersebut. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai kekasaran logam meliputi proses pembentukan logam, proses pemotongan logam, kecepatan pemotongan, serta sudut pemotongan yang digunakan[22].

Berdasarkan penelitian Sattar [23], suhu tempering terbukti berpengaruh terhadap kekasaran permukaan baja. Dalam penelitian tersebut, digunakan baja karbon sedang sebagai bahan uji. Sampel baja mengalami perlakuan panas berupa quenching dan tempering. Proses quenching dilakukan dengan mendinginkan sampel yang telah dipanaskan hingga 850°C selama 1 jam didinginkan menggunakan air es. Selanjutnya, proses tempering dilakukan pada suhu 800°C,

900°C, dan 1000°C selama masing-masing 1 jam, lalu didinginkan di udara. Hasil dari penelitian tersebut yang dapat dilihat pada grafik membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur tempering maka semakin tinggi nilai kekerasaanya.

Besarnya nilai dari kekerasan suatu permukaan akan berdampak terhadap laju korosi. Berdasarkan penelitian dari Aldinor yang menyatakan bahwa semakin tinggi nilai kekasaran permukaan, akan menyebabkan laju korosi meningkatkan. Hal ini disebabkan karena permukaan yang lebih kasar akan menyebabkan beda potensial dan cenderung untuk menjadi anoda yang terkorosi. Semakin kasar permukaan suatu logam menyebabkan ketidakhomogenan pada permukaan, hal ini memudahkan terjadinya korosi [24]. Permukaan logam yang tidak rata akan memudahkan terjadinya kutub-kutub muatan (muatan positif dan negatif), yang akhirnya akan berperan sebagai anoda dan katoda pada reaksi elektrokimia. Permukaan logam yang halus dan bersih akan menyebabkan korosi sukar terjadi, sebab sukar terjadi kutub-kutub yang akan bertindak sebagai anoda dan katoda. Maka dari itu, laju korosi akan semakin meningkat seiring bertambah kasarnya permukaan logam.

Dalam pembuatan stent melalui teknologi *microforming*, tantangan tambahan muncul akibat efek ukuran (*size effect*) pada material lembaran tipis. Ketika ketebalan material berkurang hingga skala mikrometer, jumlah butir kristal dalam area deformasi menjadi sangat terbatas [25], menyebabkan ketidakseragaman deformasi plastis yang termanifestasi sebagai peningkatan kekasaran permukaan bebas[26]. Furushima dkk. menemukan bahwa kekasaran permukaan meningkat seiring penurunan ketebalan lembaran, dimana rasio kekasaran permukaan terhadap

ketebalan yang sebanding dengan lembaran konvensional secara signifikan mempengaruhi deformasi plastis dan fraktur duktilitas selama microforming [19]. Pada tembaga murni dengan ketebalan 0,05-1,0 mm tidak ditemukan dimples yang biasanya menandai fraktur duktilitas, menunjukkan bahwa patahan justru disebabkan oleh kekasaran permukaan bebas. Meng et al. melaporkan bahwa pengaruh kekasaran permukaan terhadap aliran material dan regangan fraktur menjadi sangat nyata ketika ketidakseragaman permukaan mencapai tingkat yang sama dengan ketebalan sampel. Qiu Zheng dkk. menambahkan bahwa efek ukuran dapat menyebabkan karakteristik material tidak homogen dan variasi tinggi parameter proses, membuat proses pembentukan sulit diprediksi di skala mikro. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan yakni melakukan perlakuan panas [27].

Untuk memahami mekanisme di balik kekasaran permukaan pada baja tahan karat austenitik, banyak penelitian telah dilakukan pada lembaran baja tahan karat. Secara umum dilaporkan bahwa pengerasan permukaan meningkat secara linear dengan regangan plastis dan dipengaruhi tidak hanya oleh kondisi deformasi plastis seperti rasio regangan, tetapi juga oleh faktor material seperti ukuran butir, struktur kristal, orientasi kristal, dan persebaran martensit [27]. Selain itu juga, Misorientasi Butir mempengaruhi besaran nilai kekasaran permukaan. Misorientasi Butir (GMO) diperoleh dari perhitungan misorientasi butir di pusat butir-butir yang kemudian dirata-ratakan. Nilai ini dapat diperoleh dari peta KAM (*Kernel Average Misorientation*) hasil analisis SEM-EBSD pada struktur material setelah deformasi [5]. Berdasarkan temuan-temuan ini, berikut dikembangkan model konstitutif yang

ditunjukkan pada persamaan 2.1 untuk menghitung kekasaran permukaan baja tahan karat SUS 304 [28].

$$\Delta Ra = (F_{MPT} + G_{Mo}) \times \sqrt{D_g} \times \varepsilon \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

ΔRa = Kekasaran Permukaan

F_{MPT} = Fraksi volume martensit (struktur mikro yang diperoleh)

G_{mo} = Grain moestration

D_g = Ukuran butir

ε = regangan

2.11 UJI Tarik

Pengujian tarik adalah proses pengujian yang merusak di mana gaya tarik diberikan pada material untuk menguji kekuatannya. Proses ini dilakukan dengan memberikan gaya pada benda ke arah yang berlawanan atau dengan mengikat salah satu ujung benda dan memberikan gaya pada ujung lainnya hingga benda tersebut putus. Proses pengujian tarik memiliki tujuan utama untuk mengidentifikasi kekuatan tarik dari bahan uji. Bahan uji ini diharapkan akan digunakan dalam konstruksi, sehingga mampu menanggulangi pembebanan dalam bentuk tarikan. Pembebanan tarik merujuk pada gaya yang diberikan pada suatu objek dengan arah menjauh dari titik tengahnya, atau dengan memberikan gaya tarik pada satu ujung objek dan mengikat ujung yang lainnya[29].

. Uji tarik merupakan dasar dari pengujian bahan yang menjadi landasan dalam studi tentang kekuatan suatu bahan atau material [30]. Pengujian tarik akan menghasilkan diagram *stress-strain* yang dapat dilihat pada gambar 2.5 yang

memiliki beberapa karakteristik seperti *yield strength*, *tensile strength*, *elongation*, *modulus elastic* dan lainnya yang dapat dilihat di gambar berikut.

1. Tegangan

Tegangan yang diperoleh dari kurva tegangan teoritis adalah tegangan rata-rata yang dihasilkan dari pengujian tarik. Tegangan ini didapatkan dengan membagi beban yang diterapkan dengan luas penampang lintang awal dari benda uji. Tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2

$$\sigma = \frac{P}{A_o} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana,

P = gaya yang diberikan pada benda uji (N)

Ao = luas penampang awal benda uji (mm²)

2. Regangan

Regangan yang didapatkan adalah regangan linear rata-rata, yang dihitung dengan membagi perpanjangan (*gage length*) benda uji dengan panjang awalnya.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{L - L_o}{L_o} \dots\dots\dots (2.3)$$

3. *Yield strength*

Sebagian besar struktur dirancang agar hanya mengalami deformasi elastis saat menerima tegangan. Jika suatu struktur atau komponen mengalami deformasi plastis, yang bersifat permanen, maka fungsinya bisa terganggu atau

bahkan gagal berfungsi sebagaimana mestinya. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui tingkat tegangan saat deformasi plastis mulai terjadi, yang dikenal dengan fenomena leleh atau *yielding*. Pada logam yang mengalami transisi dari elastis ke plastis secara bertahap, titik leleh biasanya ditandai sebagai awal penyimpangan dari hubungan linear antara tegangan dan regangan. Titik ini, yang disebut batas proporsionalitas (*proportional limit*), menunjukkan awal deformasi plastis pada skala mikroskopis. Namun, karena sulit untuk menentukan titik ini secara presisi, maka digunakan pendekatan konvensional. Dalam pendekatan ini, dibuat garis lurus sejajar dengan bagian elastis dari kurva tegangan-regangan, dimulai dari regangan sebesar 0,002. Tegangan di titik perpotongan garis ini dengan kurva pada daerah plastis kemudian didefinisikan sebagai kekuatan luluh atau *yield strength*. [29].

4. *Tensile strength*

Tensile strength atau kekuatan tarik (MPa atau psi) adalah tegangan maksimum pada kurva tegangan-regangan teknik. Ini sesuai dengan tegangan maksimum, ini adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh struktur, jika tegangan ini diterapkan dan dipertahankan, maka *fracture* atau patah akan terjadi. Kemudian, pada tegangan maksimum ini, penyempitan kecil atau necking mulai terbentuk di beberapa titik, dan semua deformasi berikutnya terakumulasi pada daerah necking ini, dan akhirnya terjadi patah atau *fracture* [29].

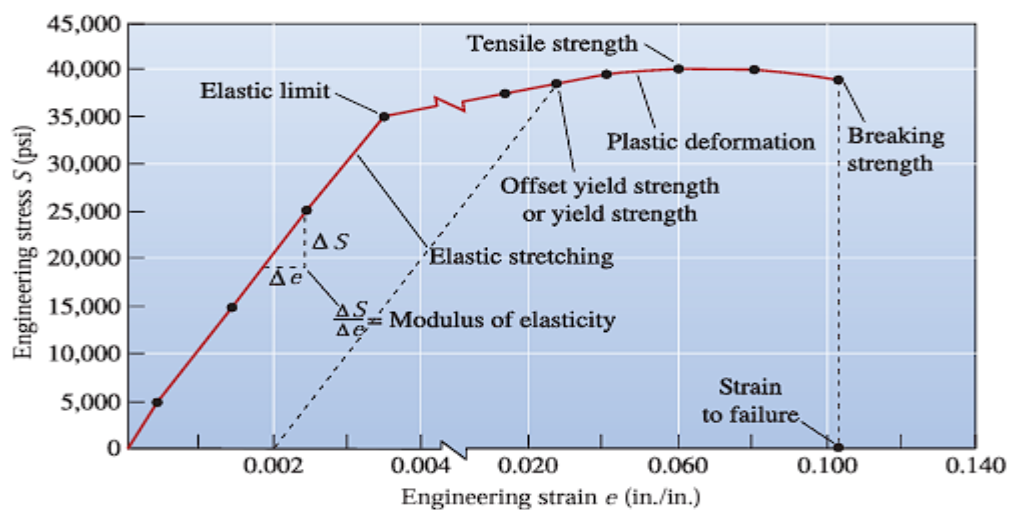
5. *Elongation*

Elongation adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan sejauh mana suatu material dapat meregang atau memanjang sebelum mengalami retak atau pecah. Dalam konteks uji tarik (*tensile testing*), elongasi diukur sebagai persentase perubahan panjang suatu sampel material setelah mengalami uji tarik.

6. Modulus Elastisitas

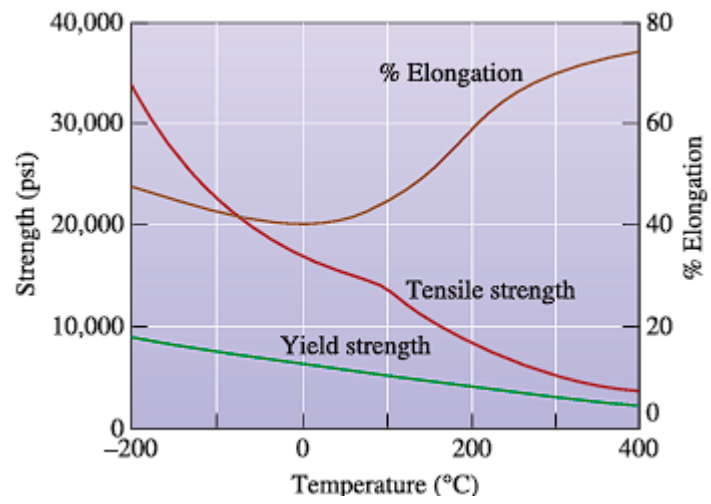
Modulus elastisitas, atau sering disebut modulus Young, adalah ukuran sejauh mana suatu bahan dapat meregang atau mengalami deformasi elastis (non-permanen) dalam merespons tegangan atau gaya yang diterapkan padanya. modulus elastisitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4 [31]:

$$E = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (2.4)$$



Gambar 2. 6 Diagram *Stress-Strain* [32]

Sifat mekanik pada material seperti *yield strength*, *tensile strength*, dan elongasi bergantung pada suhu yang dapat dilihat pada gambar 2. 7. *Yield strength*, *tensile strength*, dan modulus elastisitas menurun pada suhu yang lebih tinggi, sedangkan keuletan atau elongasi meningkat. Hal ini disebabkan dua mekanisme utama yang terjadi dalam struktur mikro. Pertama, densitas dislokasi menurun akibat meningkatnya mobilitas atom, yang memungkinkan dislokasi bergerak lebih bebas dan saling meniadakan melalui proses *recovery*. Dengan semakin sedikit dislokasi, hambatan terhadap deformasi plastis berkurang, sehingga material menjadi lebih mudah mengalami deformasi. Kedua, pertumbuhan butir (*grain growth*) terjadi karena energi termal yang tinggi memungkinkan butir-butir kecil bergabung membentuk butir yang lebih besar. Semakin besar ukuran butir, semakin sedikit batas butir yang tersedia untuk menghalangi pergerakan dislokasi. Karena hambatan terhadap gerakan dislokasi berkurang, kekuatan luluh pun menurun. Oleh karena itu, kombinasi dari menurunnya densitas dislokasi dan bertambahnya ukuran butir menyebabkan material menjadi lebih lemah pada suhu tinggi[32].



Gambar 2. 8 Pengaruh Temperatur Terhadap *Tensile Strength* ,*Yield Strength* dan Elongasi[32]